

## ANÁLISE DA VULNERABILIDADE À EROSÃO: BACIAS DOS RIOS ARACATIAÇU E ARACATIMIRIM (CE)

GLEUBA MARIA BORGES DE SOUZA CARVALHO<sup>1</sup>  
MARCOS JOSÉ NOGUEIRA DE SOUZA<sup>2</sup>  
SILVANIA MARIA DOS SANTOS<sup>1</sup>

<sup>1</sup>FUNCEME – Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos  
Caixa Postal D-3221 – 60115-221 – Fortaleza – CE, Brasil  
{gleuba, silvania} @funceme.br

<sup>2</sup>UECE – Universidade Estadual do Ceará  
Caixa Postal 1531 – 60740-000 - Fortaleza – CE, Brasil  
marcosnogueira@fortalnet.com.br

**Abstract.** The watersheds of Aracatiaçu and Aracatimirim rivers are the areas selected to realize this study. They are located in the northwest of Ceará State with 5.217km<sup>2</sup>. The methodology used in this research is according to Crepani et al., (1996), adapted to the semi-arid region. This methodology is based on the landscape dynamic which qualifies the environmental units to the erosion vulnerability using remote sensing and GIS technology and the performance of morphogenesis/ pedogenesis (Tricart, 1977). The data were obtained through LANDSAT-5 satellite images interpretation and to store and manipulate the data was used GIS programs, generating information related to the geosystems, and the erosion vulnerability, 1:250.000. The results of the analysis obtained areas classified as stable/ vulnerable to the natural erosion process (53,2%), moderately vulnerable (42,2%), vulnerable (2,2%) and moderately stable (0,3%).

**Keywords:** remote sensing, semi-arid, vulnerability.

### 1. Introdução

A semi-aridez existente na quase totalidade do Estado do Ceará, propicia condições desfavoráveis de aproveitamento de seus recursos naturais, tornando-o bastante vulnerável. A diminuição da biodiversidade e o desenvolvimento de processos de degradação dos recursos naturais renováveis como solo e água representam as repercussões ambientais que assumem maior gravidade.

A área das bacias hidrográficas dos rios Aracatiaçu e Aracatimirim, constitui um espaço bastante diversificado, pela variedade de quadros geoambientais que apresenta, possibilitando diferentes formas de utilização do seu território, sobretudo pelos contrastes, determinados principalmente pelo gradiente decrescente das precipitações pluviométricas, do litoral semi-úmido, mais chuvoso, passando por uma faixa intermediária, até alcançar o sertão semi-árido.

Buscou-se, como resultante da pesquisa, a identificação dos graus de vulnerabilidade à erosão, para cada uma das unidades geoambientais das Bacias Hidrográficas. Com este mapeamento em escala 1:250.000 foi possível conhecer as áreas que apresentam alto risco de erosão, assim como também as áreas potencialmente estáveis e com possibilidades exequíveis para a expansão das atividades ligadas ao setor primário da economia.

### 2. Metodologia

#### 2.1. Procedimentos metodológicos

A detecção do grau de vulnerabilidade à erosão nas unidades geoambientais existentes nas bacias hidrográficas dos rios Aracatiaçu e Aracatimirim fundamentou-se no enfoque sistêmico com base no estudo de elementos interdependentes e indissociáveis do meio natural, considerando a relação entre os processos de morfogênese e pedogênese e a intervenção antrópica.

A base metodológica utilizada para a compartimentação dos geossistemas foi a de sensoriamento remoto orbital, através da técnica de interpretação visual de imagens de satélite, que propicia verificar os padrões paisagísticos similares onde se incluem condições hidro-climáticas e morfo-pedológicas recobertas primariamente por fitofisionomias características.

A delimitação das unidades geoambientais homogêneas foi executada conforme sua estrutura e a classificação de acordo com a dinâmica ambiental em processo. Sob esse último aspecto, além da consideração de processos estritamente naturais, considera-se a intervenção antrópica. Essa implica a substituição de uma dinâmica natural em equilíbrio, por outra, geralmente mais agressiva ao retirar a cobertura vegetal, ao utilizar o solo e os recursos hídricos, ao explorar os recursos minerais e implantar uma infra-estrutura básica.

A aplicação do modelo para classificar o grau de vulnerabilidade e/ou estabilidade à erosão nas unidades geoambientais baseou-se na metodologia desenvolvida pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais INPE (1996), entre as situações de predomínio dos processos de pedogênese, passando por situações intermediárias e situações de predomínio dos processos de morfogênese, idealizado a partir dos conceitos de Ecodinâmica Tricart (1977), e, adaptado às condições locais por Souza et al., in (Ceará, 1994).

Muito embora não se pretenda apresentar a totalidade da documentação cartográfica elaborada, procurou-se destacar, juntamente com o Mapa de Vulnerabilidade à Erosão e das Unidades Geoambientais, em escala de 1:250.000, os mapas Geológico/Geomorfológico, dos Solos e o de Uso e Ocupação da Terra, em escala 1:600.000, sem os quais a compreensão do estudo ficaria prejudicada.

## **2.2. Material e sistemática operacional**

### **Material**

Fez-se uso de imagens orbitais coletadas pelo sensor THEMATIC MAPPER – TM a bordo do satélite LANDSAT-5, produtos fotográficos na escala 1:250.000, em composições coloridas multiespectrais TM2 (azul), TM3 (verde) TM4 (vermelho), referentes às órbitas/pontos 217.62, 217.63, passagem de agosto 1996, como também as de escala 1:100.000, pancromática, bandas 3 e 5, passagens julho e agosto de 1991. Fez-se uso, também, da imagem processada pelo IBAMA, da órbita/ ponto 217.63 em composição colorida multiespectral TM4 (vermelho), TM5(verde) e TM3(azul), escala 1:100.000 datada de agosto de 1994.

A documentação cartográfica de apoio à coleta de dados utilizados, foi a seguinte: Folhas do mapeamento sistemático em escala 1:100.000 elaboradas pela- DSG/SUDENE, (1976 a 1984); mapas: geomorfológico, potencial de recursos hídricos, exploratório de solos, geológico e de vegetação, escala 1:1.000.000 - RADAMBRASIL – 1981; mapa exploratório - reconhecimento de solos do Estado do Ceará, escala 1:600.000 - Ministério da Agricultura – 1972; mapa de solos - Zoneamento Agrícola do Estado do Ceará, escala 1:200.000 - SAAb – 1982; mapa geológico do Estado Ceará, escala 1:500.000 - CPRM – 1983; mapa das unidades fitoecológicas do Estado do Ceará e mapa de solos - susceptibilidade à erosão do Estado do Ceará, escala 1:1.000.000 - Projeto Áridas - FUNCEME/SEPLAN – 1994;

Para a etapa de geoprocessamento foram utilizados os *softwares* SGI – Sistema de Informações Geográficas, versão 2.5, o SPRING - Sistema de Processamento de Informações Georeferenciadas, versão 3.3 ambos desenvolvidos pelo INPE, além do software de GIS *ArcView*, versão 3.1 da ESRI.

### Sistemática operacional

Atendendo aos objetivos do trabalho em demonstrar o potencial das geotecnologias para operacionalização da proposta metodológica de Crepani et al.,(1996), foram realizados levantamentos e análises do material geocartográfico e bibliográfico existente, referente à área de estudo.

A interpretação das imagens do satélite LANDSAT-5, sensor TM, em produto fotográfico, na composição colorida multiespectral, associando as bandas 2B3G4R ( banda 4, vermelho; banda 3, verde; banda 2, azul) em escala 1:250.000, se desenvolveu com a interpretação visual que permitiu a análise interpretativa dos alvos de interesse (geologia, geomorfologia, vegetação, uso e ocupação da terra).

A base cartográfica foi executada a partir da compilação das informações básicas, tais como drenagem, estradas, centros urbanos, altimetria, dentre outras, obtidas diretamente sobre as cartas planialtimétricas da DSG/SUDENE, na escala 1:100.000.

As unidades geoambientais, definidas a partir de critérios de fotointerpretação sobre as imagens orbitais, foram analisadas à luz de suas características genéticas e daquelas relacionadas à interação com o meio ambiente, adotando-se a abordagem metodológica integrativa, utilizando técnicas de sensoriamento remoto orbital e geoprocessamento. Associaram-se à interpretação das imagens, que propiciou também, os dados temáticos, de geologia, geomorfologia, de cobertura vegetal e uso da terra, ao preexistente de pedologia em escala compatível, acrescidos de informações climáticas.

As atividades necessárias à transformação dos dados do formato analógico para formato digital e a respectiva inclusão no banco de dados geográficos incluiu: a digitalização da cartografia básica e das temáticas; a análise e correção dos mapas digitalizados; conversão para o formato digital de dados alfanuméricos e conversão entre projeções cartográficas.

Os dados foram complementados com a execução de trabalhos de campo com a finalidade de verificar os resultados de natureza sintética ou integrativa, que tem fundamento na concepção sistêmica.

A partir dos conceitos da Ecodinâmica, Tricart (1977), adaptado às condições locais por Souza (1994), adotou-se o modelo desenvolvido por Crepani et al., do INPE (1996), de classes de vulnerabilidade à erosão, distribuídas entre as situações de predomínio dos processos de pedogênese, passando por situações intermediárias e situações de predomínio dos processos de morfogênese.

Quando existe o predomínio da morfogênese há um domínio de processos erosivos que irão modificar as características do relevo, gerando constantes modificações nos terrenos e, como consequência, a vulnerabilidade à erosão nessas áreas será maior. Inversamente, quando existe o predomínio da pedogênese, o desenvolvimento do solo é dominante e os terrenos poderão ser considerados estáveis.

A vulnerabilidade à erosão é expressa pela atribuição de valores de estabilidade/vulnerabilidade para cada unidade homogênea, classificada conforme o observado no **Quadro1**.

Quadro1 – Avaliação da Vulnerabilidade das Unidades Geoambientais

Unidade	Relação pedogênese/morfogênese	Valor
Estável	Prevalece a pedogênese	1,0
Intermediária	Equilíbrio entre pedogênese e morfogênese	2,0
Instável	Prevalece a morfogênese	3,0

Fonte: Crepani et al., (1996), modificada de Tricart(1977).

O modelo foi aplicado a cada tema individualmente dentro de cada unidade, respeitando uma abordagem holística, atribuindo valores onde se obteve a média dos valores individuais que representou a posição da unidade geoambiental dentro da escala de vulnerabilidade à erosão.

A estabilidade ou vulnerabilidade, resistência ao processo de erosão das unidades é definida pela análise integrada do conjunto rocha, solo, relevo, vegetação e clima. Os elementos considerados em cada componente físico da paisagem leva em consideração seu comportamento em face da erosão.

O trabalho de digitalização dos temas geologia, geomorfologia, solos, vegetação e uso da terra, assim como o das unidades geoambientais foi executado no sistema SGI/INPE. Os mapas em formato vectorial e devidamente georrefenciados foram exportados para o sistema SPRING, onde iniciou-se a integração dos dados. A finalização dos mapas temáticos foi executada no *software* de GIS *ArcView*.

A partir do cruzamento entre os mapas temáticos no formato digital, que identificam física e fitogeograficamente as Bacias Hidrográficas, com o mapa de unidades geoambientais, convertidos para mapas numéricos, realizou-se a operação pontual de ponderação, que associa o grau de vulnerabilidade em que valores foram atribuídos às classes do tema, variando entre 1,0 e 3,0. Posteriormente, executou-se a operação zonal de média, em que o valor médio para o tema dentro de cada unidade territorial básica foi calculado.

O produto final consiste em um mapa de vulnerabilidade à erosão nas unidades geoambientais das bacias hidrográficas dos rios Aracatiaçu e Aracatimirim, em escala 1:250.000, representado por 04 (quatro) classes temáticas de vulnerabilidade, associadas a nomes e cores, quais sejam: Vulnerável; Moderadamente Vulnerável; Medianamente Estável/Vulnerável; Moderadamente Estável.

### 2.3. Enfoque dos estudos básicos

A elaboração do modelo que prevê as classes de vulnerabilidade à erosão, distribuídas entre as situações de predomínio dos processos de pedogênese, passando por situações intermediárias e situações de predomínio dos processos de morfogênese em cada tema e dentro de cada unidade geoambiental, recebe atribuições de valores conforme o **Quadro2**.

Quadro2 – Classes de Vulnerabilidade e/ou Estabilidade à Erosão

Escala de Vulnerabilidade	Grau de Vulnerabilidade
2,7 a 3,0	Vulnerável (morfogênese)
2,3 a 2,6	Moderadamente Vulnerável
1,8 a 2,2	Medianamente Estável/Vulnerável
1,4 a 1,7	Moderadamente Estável
1,0 a 1,3	Estável (pedogênese)

Fonte: Modificada de Crepani et al., (1996).

Segundo Crepani et al., (1996), a participação da Geologia para a análise e definição morfodinâmica compreende as informações relativas ao grau de coesão das rochas que servem de suporte para a unidade geoambiental. Na área das Bacias Hidrográficas afloram dois conjuntos de rochas bem distintos, mostrando diferentes classes de processos erosivos e recebendo valores diferenciados de vulnerabilidade. Nas coberturas sedimentares os valores variaram entre 2,0 a 3,0. Nos terrenos antigos do Pré-Cambriano pertencentes ao Complexo Nordeste, predominam os migmatitos, gnaisses, xistos, quartzitos e granitos atribuindo-se 1,8 como valor.

Quanto à Geomorfologia, consideraram-se, basicamente, as informações relativas à morfometria. Buscou-se identificar a declividade apoiada nas cartas topográficas e o grau de dissecação inferido através da análise de imagens orbitais, baseando-se na matriz dos índices de dissecação do Projeto Radambrasil. Essas medidas foram executadas de formas amostrais, para cada tipo de unidade geoambiental.

As planícies e áreas sujeitas a inundações sazonais receberam valores entre 2,8 a 3,0. As superfícies pediplanadas, de interflúvios tabulares como a Depressão Sertaneja de níveis conservados e os Tabuleiros obtiveram valores entre 1,3 a 1,5. .

Onde ocorrem relevos dissecados como na Depressão Sertaneja de níveis dissecados, nos Maciços Residuais e *Inselbergs* os valores variaram entre 2,8 a 3,0.

A Pedologia colabora na caracterização morfodinâmica através da maturidade e profundidade dos solos, produtos diretos do balanço morfogênese/pedogênese.

Devido ao nível generalizado do levantamento de solos da área, onde as unidades de mapeamento são compostas por associações de solo variadas, fez-se a ponderação, associando as proporções de ocorrência de 60%, 30% e 10%, respectivamente para o primeiro, segundo e terceiro componente da associação.

Os Latossolos, associação de Solonchak Sódico + Solos Indiscriminados de Mangues receberam valor 1,0. Os solos Podzólicos, Planossolos, Aluviais Eutróficos foram pontuados com o valor 2,0. Os demais solos existentes nas Bacias Hidrográficas foram considerados jovens e pouco desenvolvidos devido às características de pouca evolução dos perfis de solo e/ou por se encontrarem em áreas de média a alta declividade, recebendo valores superiores a 2,5. São eles: Brunos não Cálcico 2,8; Planossolo Solódico 2,6; Solonetz Solodizado 2,6; Solos Hidromórficos 3,0; Solos Litólicos, Areias Quartzosas e Regossolo Eutrófico 3,0.

A cobertura vegetal representa a proteção do solo contra os efeitos dos processos modificadores das formas de relevo (erosão), e sua participação na caracterização morfodinâmica das geofácies está, portanto, relacionada à sua capacidade de proteção. Para a vegetação foram atribuídos valores de acordo com a proteção oferecida ao solo e, em função da densidade da cobertura vegetal, respeitando, entretanto, as limitações da escala do trabalho.

Atribuíram-se valores de 2,8 e 2,3, para as formações de baixa densidade de cobertura, independente do relevo e de fisionomia específica. Para as formações de porte arbóreo, os valores atribuídos ficaram entre 2,0 a 2,2 devido o caráter semicaducifólio e caducifólio destas coberturas. Já para as que tem uma composição mista, foi dado o valor 2,0. A vegetação mais densa, que fornece um pouco mais de proteção, recebeu o valor 1,5.

As alterações introduzidas pelo homem foram mapeadas junto com a cobertura vegetal recebendo valores em graus de vulnerabilidade acima de 2,0. O valor atribuído para áreas agrícolas foi de 2,5; para pastagem natural adotou-se o valor 2,8; para as áreas de agroextrativismo com culturas de vazantes e extração de carnaúba o valor 2,5 foi o considerado.

A Climatologia, através da relação entre os valores extremos da pluviosidade e da duração do período chuvoso, permite uma quantificação empírica do grau de risco. Estabeleceu-se valor 3,0 para as áreas onde ocorrem chuvas entre 800 – 1.100mm anuais e valor 2,0 para as áreas que recebem precipitações menores que 800mm anuais.

O procedimento metodológico utilizado chegou à média aritmética entre os valores individuais obtidos dos temas, para cada unidade geoambiental das Bacias Hidrográficas permitindo a execução do mapa com os atributos finais, correspondentes aos valores de vulnerabilidade à erosão.

### 3. Conclusões

Após a análise de todos os atributos, o mapa dos graus de vulnerabilidade à erosão obtido, (**Figura 1**) que reflete o estado atual da paisagem, indica 04 (quatro) classes de

vulnerabilidade/estabilidade aos processos erosivos naturais nas bacias hidrográficas dos rios Aracatiaçu e Aracatimirim, tais como: Moderadamente Estável; Medianamente Estável/Vulnerável; Moderadamente Vulnerável e Vulnerável.

- Classe moderadamente estável

Ocupando uma pequena parcela da área em estudo (0,3%), a classe moderadamente estável aparece em pequenas porções das geofácies Tabuleiros Areno-Argilosos do Baixo Aracatiaçu e Aracatimirim onde encontram-se solos mais maduros do tipo Latossolos, relevo plano a suave ondulado e cobertura vegetal com maior capacidade de densidade, permitindo que haja processos de pedogênese. São áreas dotadas de boa capacidade produtiva dos recursos naturais, tendo suficiente quantidade de água acumulada com grandes possibilidades de utilização de águas subterrâneas, solos moderadamente profundos com baixa a média fertilidade natural, pouco susceptível à erosão em função do estado de conservação da vegetação.

- Classe medianamente estável/vulnerável

Trata-se de uma classe com predomínio na área. Nela aparecem ambientes onde há interferência permanente da morfogênese e pedogênese, exercendo-se de maneira concorrente sobre o mesmo espaço, variando em aspectos qualitativos (processos morfogênicos) e quantitativos (balanço pedogênese/morfogênese). Pode-se dizer que se trata de um ambiente sensível e susceptível à erosão cuja exploração fica comprometida. Numericamente, esta classe de vulnerabilidade representa (53,2%) da área, correspondendo no mapa à cor amarela, localizando-se predominantemente nas geofácies: Sertões de Amontada; Sertões de Irauçuba; Sertões Ocidentais de Aracatiaçu e parte dos Sertões Ocidentais de Aracatimirim, onde há solos como Bruno não Cálculo, Planossolo Solódico, Litólicos, susceptíveis à erosão, uma rarefação e deciduidade da cobertura vegetal, predominando, hoje, a pecuária ultra-extensiva à custa do pasto nativo e agricultura de subsistência, contribuindo para gerar condições típicas de desertificação, principalmente nos Sertões de Irauçuba; Tabuleiros Areno-Argilosos do Baixo Aracatiaçu e Aracatimirim e parte dos Tabuleiros Arenosos de Itarema, onde predominam solos arenosos, espessos e com fertilidade natural média a baixa, susceptíveis à erosão, como Areias Quartzosas Distróficas, Podzólico Vermelho Amarelo Distrófico, ocupados por intenso uso agrícola explorando as culturas do caju e coco, como também lavouras de subsistência; Planícies Fluviais que conservam a vegetação de várzea.

Constitui uma área com razoável capacidade produtiva dos recursos naturais renováveis; de pequeno potencial dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos, considerando o escoamento fluvial, os reservatórios com baixa quantidade de água acumulada assim como poucas possibilidades de utilização das águas subterrâneas; irregularidade acentuada das condições climáticas, especialmente do regime pluviométrico semi-árido; solos poucos profundos, intensamente erodidos com freqüentes afloramentos rochosos, com baixa a média fertilidade natural.

- Classe moderadamente vulnerável

A classe moderadamente vulnerável representa (42,2%) da área das Bacias Hidrográficas, correspondendo no mapa à cor laranja. Aparece nas geofácies: Planícies Flúvio – Marinhas onde há cobertura vegetal de mangue e o extrativismo vegetal que propicia a degradação dos manguezais, iniciando o desmatamento e permitindo a instalação do plantio de coqueiros; Áreas de Acumulação Inundáveis do rio Aracatiaçu em função da degradação indisciplinada da vegetação, favorecendo o aumento das pastagens naturais; Planícies Fluviais onde ocorre o agro-extrativismo, ficando exposta aos efeitos de inundações periódicas; Vertente Ocidental da serra de Uruburetama onde há uma cobertura vegetal descaracterizada, com desmatamento indisciplinado para o uso indiscriminado com a agricultura de subsistência e extração de lenha, propiciando processos erosivos ativos que ampliam os solos degradados e vertentes

rochosas; Pequenos Maciços Residuais devido ao trabalho de erosão nos setores de rochas mais resistentes, provocando a elaboração de relevos rochosos e/ou com solos muito rasos, como os Litólicos, susceptíveis à erosão, declives íngremes; Sertões do Alto Aracatiaçu; Sertões de Missi e parte dos Sertões Ocidentais de Aracatimirim onde ocorrem solos susceptíveis à erosão, relevo variando de parcialmente dissecado a dissecado, cobertura vegetal secundária.

São áreas com problemas quanto à capacidade produtiva dos recursos naturais renováveis; drenagem superficial esparsa com rios intermitentes e recursos hídricos sub-superficiais com águas pouco profundas; condições climáticas sub-úmidas a semi-áridas, com chuvas irregulares e melhor distribuídas, próximo ao litoral e irregulares e escassas nos pequenos maciços residuais; solos pouco profundos, erodidos, com baixa a média fertilidade e onde ocorrem desmatamento indisciplinado para a utilização agrícola e extração da lenha.

- Classe vulnerável

A área qualificada como vulnerável aos processos erosivos naturais ocupa as geofácies denominadas de: Faixa de Praia, Terraço Marinho e Campos de Dunas Móveis, Fixas e Paleodunas que forma uma superfície composta por terrenos de neoformação, submetidos às influências marinha, eólica, fluvial e pluvial, onde predomina a instabilidade geomorfológica. Embora a vegetação esteja presente em algumas superfícies dunares, à exceção das dunas fixas e paleodunas, ela não tem a capacidade bioestabilizadora para evitar o constante deslocamento das areias. Pode-se dizer que a morfogênese predomina no ambiente e prevalece os processos erosivos modificadores das formas de relevo; Planícies Lacustres e Flúvio Lacustres recobertas por solos do tipo Areias Quartzosas Distróficas e Areias Quartzosas Marinhas Distróficas com intenso uso agrícola e prática de atividades agroextrativas.

A capacidade produtiva dos recursos naturais, nessa área, é mínima, mas há boas condições potenciais de águas subterrâneas. Entretanto, os recursos hídricos superficiais, as faixas praias, os recursos minerais devem ter seus usos controlados. Trata-se de um ambiente limitado à prática de atividades ligadas ao turismo e à pesquisa científica.

Pode-se concluir que os procedimentos metodológicos adotados permitiram a transposição da proposta de Crepani et al., *Op.Cit.*(1996), com as devidas alterações, para a região semi-árida, onde o modelo foi materializado através das geotecnologias de sensoriamento remoto e geoprocessamento.

## Referências

Ceará, Secretaria de Planejamento e Coordenação do Estado do Ceará. Projeto áridas: grupo de trabalho: *recursos naturais e meio ambiente*. Fortaleza, 1994, 226 p.

Crepani, E., Medeiros, J.S., Hernandes Filho, P. et al. Uso de sensoriamento remoto no zoneamento ecológico econômico. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto 8, Salvador, 1996. *Anais..* São José dos Campos: INPE, 1996. Cd room. [URLib](#).

Tricart, J. *Ecodinâmica*. Rio de Janeiro: IBGE, 1977. 91 p. (Recursos Naturais e Meio Ambiente, 1).

